



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Rengaskanavajärjestelmän toimintakokkeet ja tutkiminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikka  
Insinöörito  
31.5.2020

Tekijä Otsikko	Ramon Nieminen Rengaskanavajärjestelmän toimintakokeet ja tutkiminen
Sivumäärä Aika	42 sivua 31.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	opettaja Seppo Innanen
<p>Tässä insinööriyössä perehdyttiin Myllypuron Kampuksen oppilaitoksen rengaskanavajärjestelmään ja sen toimintaan. Työssä käytiin yleisellä tasolla läpi ilmanvaihtolaitoksen vastaanottoa ja käyttöönottoa sekä pyrittiin selvittämään oppilaitoksen luokkahuoneille suoritettuja toimintatarkastuksia. Insinööriyön aikana oltiin yhteydessä oppilaitoksen automaatio-suunnittelijaan ja ilmanvaihtourakoitsijaan.</p> <p>Insinööriyössä syvennettiin yhden luokkahuoneen ilmamääriin ja ilmamääräasetuksiin tutkimalla suunnittelijan toimintaselostusta ja valvomografiikan asetuksia. Luokkahuoneen ilmamääriin liittyvien kenttälaitteiden toimintaperiaatteita käsiteltiin perustuen käytössä olevaan dokumentaatioon.</p> <p>Ilmamäärämittauksia suoritettiin luokkahuoneelle erilaisilla hiilidioksidikuormituskokeilla, joiden avulla pyrittiin tutkimaan rengaskanavan toimintaa ja luokkahuoneen ilmamääriä. Kuormituskokeita tehtiin tutkittavan luokkahuoneen viereisiin luokkatiloihin ja suoritettiin myös hiilidioksidiarvojen nostamista pussimenetelmällä. Pussimenetelmällä ja normaaleilla henkilökuormilla saatuja mittauksia vertailtiin toisiinsa. Lisäksi luokkatilan ilmamäärämittaustuloksia vertailtiin arvioituihin suunnitteluarvoihin. Ilmamäärämittausten ohella laadittiin opastavat käyttöohjeet päätelaitteiden mittaamiselle.</p> <p>Lopputuloksena saatiin selvitettyä eri kuormitusmenetelmien vaikutukset luokkahuoneen ilmamääriin. Työssä noudettiin kriittistä lähestymistapaa tuloksia kohtaan, koska huomattiin monen tekijän vaikuttavan tuloksiin. Työssä keksittiin erilaisia toimintakokeita rengaskanavajärjestelmän kenttälaitteille ja ilmamäärämittauksille, joita voidaan käyttää apuna rengaskanavajärjestelmän tutkimisessa. Työn aikana valvomon automatiikkaan oli rajallinen pääsy, joka rajoitti työn tekemistä. Mikäli valvomoon olisi rajaton pääsy, voitaisiin tutkimuksia mahdollisesti laajentaa entisestään. Lisäksi selvitettiin rengaskanavajärjestelmän hyötyjä ja toimintaan liittyviä asioita.</p>	
Avainsanat	hiilidioksidi, rengaskanavajärjestelmä, ilmamäärä

Author Title Number of Pages Date	Ramon Nieminen Functional Tests and Study of Ring Duct System 42 pages 31 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study a ring duct system in a school to create functional tests for it and report its operational condition. For background information, the designer and the contractor were interviewed.</p> <p>The air quantities of one classroom and its adjacent classrooms were measured with a variety of carbon dioxide loads, with control room settings, action report and layouts as aids. The purpose was to establish if the conditions of the adjacent classrooms affect the studied classroom. The carbon dioxide loads were increased with two methods and the results were compared.</p> <p>The thesis established that the air flows in the studied classroom were above the design values with low carbon dioxide loads in the adjacent classrooms. The air flow measurements showed that the ring duct system worked poorly in the studied classroom with high carbon dioxide loads in the adjacent classrooms. The different measurement results were similar; however, the results were indicative.</p>	
Keywords	carbon dioxide, ring duct system, quantity of air

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmastointilaitoksen vastaanotto	1
2.1	Peittyvät työsuoritukset	2
2.2	Malliasennukset	2
2.3	Tiiviys- ja painekokeet	2
2.4	Laite- ja asennustapatarkastukset	2
2.5	Toimintatarkastus	2
2.6	Toimintakokeet	3
2.7	Kuormituskokeet	3
2.8	Vastaanotto	3
3	Ilmastointilaitoksen käyttöönotto	3
4	Metropolian kampuksen luokkatiloihin liittyviä toimintakokeita	4
5	Toimintakokeissa käytetyt mittarit	5
6	Myllypuron Kampuksen tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä	7
6.1	Myllypuron kampuksen A-talon rengaskanavajärjestelmä.	7
6.2	Ilmamääräsäädön toimintaselostus	9
6.3	Huonetilojen ilmamääräsäädön toimintaselostus	10
7	Luokkatilojen toimilaitteet	10
8	Ryhmämittauksiin osallistuminen ja tulokset	13
8.1	Ryhmämittausten järjestely	13
8.2	Yhteenveto ryhmämittauksista	14
9	Valmistelut mittauksia varten	14
10	Ilmamäärämittausten tavoitteet ja rajaus	18

11	Tutkittavan luokkahuoneen ilmamääräsäädöt grafiikassa A6017	19
12	Luokkatilan A6017 päätelaitteiden mittausohje	21
12.1	Lindab KSU -poistoilmaventtiili	22
12.2	Fläktwoods Activent -suutinkanava	25
13	Mittaukset 1–4 luokkatilassa A6017	28
13.1	Mittaus 1: Alhainen CO <sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat täynnä oppilaita	30
13.2	Mittaus 2: Korkea CO <sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat täynnä oppilaita	30
13.3	Mittaus 3: Alhainen CO <sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat tyhjinä	31
13.4	Mittaus 4: Korkea CO <sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat tyhjinä.	31
14	Pussitekniikalla suoritettut mittaukset	32
15	Mittaukset 5–6 pussitekniikalla luokkatilassa A6017	35
15.1	Mittaus 5 Alhainen CO <sub>2</sub> ja viereisissä luokkatiloissa korkea CO <sub>2</sub>	36
15.2	Mittaus 6: Kaikissa luokkatiloissa korkea hiilidioksidipitoisuus	37
16	Mittausten analysointi ja päätelmät	37
17	Toimintakoe rengaskanavajärjestelmälle	38
18	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä perehdyttiin ilmastointilaitoksen rengaskanavajärjestelmän toimintaan luokkahuoneiden osalta ja ilmamäärämittauksiin. Työssä tarkasteltiin rengaskanavajärjestelmään liittyviä kenttälaitteita, joihin keksittiin uusia testaustapoja. Työssä mitattiin luokkatilan ilmamääriä ja aiheutettiin eri menetelmillä kuormitusmuutoksia viereisiin luokkatiloihin, joiden tuloksia ja suunnitteluarvoja verrattiin toisiinsa. Luokkatilaan suoritettiin kuusi erilaista kuormitustilannetta, joista kaksi oli pussimenetelmällä toteutettu. Lisäksi ilmamäärämittausten aikana laadittiin mittausohjeet päätelaitteille.

Nykyään ilmanvaihtolaitokset ovat entistä monimutkaisempia ja ne sisältävät enemmän liikkuvia osia, jotka ovat yhteydessä toisiinsa ketjumaisesti. Ilmanvaihtolaitokset voivat toimia sadoilla tai jopa miljoonilla eri tavoilla, kun ne ottavat huomioon ulkoiset olosuhteet ja sisäiset olosuhteet. Laitoksia on hankala todeta toimintakuntoisiksi monimutkaisten mekanismiensa vuoksi, varsinkin tilaajan näkökulmasta.

Insinööriä tehtiin Myllypuron Kampuksen oppilaitokselle. Työn tavoitteena oli keksiä erilaisia toimintakokeita järjestelmälle ja tarkastella rengaskanavajärjestelmän toimivuutta hiilidioksidimittausten perusteella. Insinööriä haastatellaan suunnittelijaa ja urakoitsijoita, jotka olivat tekemisissä laitoksen kanssa. Lisäksi opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään oppilaitoksessa aiempia suoritettuja toimintakokeita liittyen luokkahuoneisiin.

## 2 Ilmastointilaitoksen vastaanotto

Ilmanvaihtolaitoksen optimaalinen toiminta vaatii hyvää suunnittelua, asennusta ja toimintatarkastuksia ennen rakennuksen käyttöönottoa. Laitos voidaan suunnitella hyvin, mutta sekin voidaan pilata huonoilla asennuksilla. Kiireiset aikataulut ja teknisten järjestelmien monimutkaisuus ja kiristynyt lainsäädäntö aiheuttavat haasteita ilmastointilaitoksen rakentamiselle [12, s. 487]. Huonosti suoritettut tai riittämättömät työsuoritukset ennen laitoksen käyttöönottoa saattavat vaikuttaa sen toiminnan laatuun. Lopputuloksena laitoksen toiminnallisuuteen vaikuttavat myös sopimusasiakirjojen vaatimukset. Laajalaiset sopimusasiakirjan vaatimukset vaikuttavat laitoksen toimintaan edesauttavasti.

## 2.1 Peittyvät työsuoritukset

Ilmanvaihtourakoitsijan tehtävään kuuluu tarkastuttaa peittyvät työsuoritukset esimerkiksi alapohjat, hormit ja rakenteissa olevat työsuoritukset. LVI-valvoja käy tarkastamassa materiaalien laadun ja asennustöiden oikean suoritustavan ilmanvaihtourakoitsijan ilmoituksen jälkeen. [12, s. 498.]

## 2.2 Malliasennukset

Urakkarajaliitteessä on määriteltynä urakoitsijoille sopivat malliasennukset ja töiden laatu. Urakoitsijat noudattavat yhteisesti näitä sovittuja periaatteita työskennellessään. [12, s. 498.]

## 2.3 Tiiviys- ja painekokeet

Asiakirjoihin määritetään tiiviys- ja painekokeiden laajuudet. Rakennusviranomainen voi halutessa osallistua toimintakokeisiin. Työsuorituksesta laaditaan pöytäkirja, joka liitetään luovutusasiakirjoihin. [12, s.498.]

## 2.4 Laite- ja asennustapatarkastukset

Rakennukselle suoritetaan laite- ja asennustapatarkastuksia sovittujen ehtojen mukaisilla tavoilla. Hankkeen aikana aloituskokouksessa ilmoitetaan sellaiset asennustapatarkastukset, jotka edellyttävät rakennusviranomaisen tai muun osapuolen hyväksyntää [12, s. 498].

## 2.5 Toimintatarkastus

IV-urakoitsijan tehtäviin kuuluu luovuttaa IV-järjestelmät ensin itselleen laadun varmistuksen vuoksi. Urakoitsija käy läpi IV-järjestelmien ja laitteiden toimintakokeissa tarkastettavat toiminnot kyseisten järjestelmien toteuttamisessa olleiden urakoitsijoiden

kanssa. Toimintatarkastukset tehdään järjestelmällisesti ja yksityiskohdittain ja niistä laaditaan pöytäkirja. [12, s. 499.]

## 2.6 Toimintakokeet

Tilat puhdistetaan ja siivotaan tarvittavalle tasolle. Lisäksi ilmastokoneiden, kanavien, kanavaosien ja päätelaitteiden kuuluu täyttää puhtaustason vaatimukset. Toimintakokeiden tarkoituksena on varmistaa IV-järjestelmien ja -laitteiden toiminnat. Laitteiden koekäytölle sekä säädöille ja mittauksille tulisi varata riittävä aika. Toimintakokeiden hyväksymisehdot ja sisältö perustuvat määritettyyn urakkarajaliitteeseen. [12, s.499]

## 2.7 Kuormituskokeet

IV-järjestelmien kokonaistoiminta varmistetaan kuormituskokeilla koekäyttöohjelman mukaisissa kuormitusolosuhteissa. Kokeiden aikana suoritetaan myös satunnaisesti tarkistusmittauksia [12, s. 499]. Varmemman kokonaistoiminnan saisi suorittamalla tarkistusmittaukset jokaiseen tilaan. Resurssit eivät aina välttämättä ole riittäviä tähän toimenpiteeseen.

## 2.8 Vastaanotto

Vastaanottotarkastuksella varmistetaan sopimusasiakirjojen mukaisuus. Vastaanottotarkistus pidetään, kun suoritukset vastaavat sopimusasiakirjojen vaatimuksia. Urakoitsijan edustajana osallistuu vastaava työjohtaja. [12, s. 499.]

# 3 Ilmastointilaitoksen käyttöönotto

Käyttöluvat kohteelle myöntää viranomainen, kun laitos täyttää viranomaisvaatimukset. Kohde voi olla vähäisesti keskeneräinen ja pieniä viimeistelyitä vailla käyttöönoton myöntämisen aikana. Keskeneräisistä töistä arvioidaan niiden haittojen vaikutus raken-



nuksen käytölle. Puutteellisesti toimiva rakennus voi antaa rakennukselle huonon leiman, sillä käyttäjät muodostavat nopeasti mielipiteensä rakennuksesta ja sen tekniikan toimivuudesta. Ensimmäisten vuosien aikana rakennus pyritään säätämään ja viilaamaan kuormitusten mukaiseen toimintaan. [12.]

#### **4 Metropolian kampuksen luokkatiloihin liittyviä toimintakokeita**

Myllypuron kampuksen A-talo otettiin käyttöön tammikuussa 2019. Luokkahuoneiden hiilidioksidin ja moottoripeltien liittyvät toimintakokeet on tehty satunnaisesti pistotarkastuksina johtuen luokkatilojen suuresta määrästä. Hiilidioksidiantureihin on hengitetty fyysisesti ja lukeman perusteella katsottu tehostusrajan ylittyminen ja luokkatilojen moottoripeltien avautuminen automaatiourakoitsijoiden toimesta. Ilmavirtojen määrää ei ole tämän automaatioon liittyvän toimintakokeen yhteydessä mitattu, vaan erillisenä työnä toisen urakoitsijan toimesta. [15; 16.]

Toimintakokeiden järjestyksellä on merkitystä lopputulokseen. Ensimmäisenä on hyvä suorittaa peltimoottorien toimintakokeet ja todentaa kaikki peltimoottorit toimiviksi ennen ilmamäärämittauksia. Ilmamäärämittauksissa oleva viallinen peltimoottori ei välttämättä käy ilmiselväksi mittauksissa. Järjestelmän toimivuutta tarkastetaan usein monen eri osapuolen kautta, joka mielestäni aiheuttaa enemmän epävarmuustekijöitä toimivuudelle. Hyvän informaation ja tiedon kulku on tärkeää eri osapuolten välillä.

Ilmamäärien määrittäminen luokkatiloille ei ollut yksinkertaista. Ilmanvaihtokoneelle on haettu sellaiset pyörimisnopeudet, että jokaisessa luokkatilassa yhdenaikaisuuskertoimet saavutetaan. IV-koneille on haettu omat taajuusohjeet, joiden kautta konekohtainen mitoitusilmamäärä on toteutettu. [15; 14.]

Suunnittelijat ovat määrittäneen valvomografiikan luokkatilojen peltimoottorien avautumisprosentit. Ilmamäärämittausurakoitsijat ovat mitanneet peltimoottoreiden ilmamääriä eri toimintapisteissä: tehostus, paikallaolo sekä minimi-ilmavirralla. Urakoitsijat ovat toimintakokeiden aikana säätäneet tulo- ja poistopuolen paineet vastaamaan suunniteltuja peltimoottorien avautumisprosentteja. Poistopuolen venttiilejä on säädetty kuristamalla päätelaitteita. [18]

## 5 Toimintakokeissa käytetyt mittarit

Toimintakokeissani käytin kahta erilaista mittaria. Kuvan 1 IAQ-Calc- sisäilmalaadun mittaria käytettiin luokkatilojen huoneseinäyksikön hiilidioksidin vertailuun. Paras mahdollinen mittaustulos mittalaitteella toteutuu anturin ollessa liikkuvassa ilmassa, eikä anturiin saa puhalttaa. [4]



Kuva 1. Sisäilmanlaadun mittari

Sisäilmanlaadun mittari (kuva 1) voidaan liittää tietokoneelle USB-kaapelin avulla. Mittarin CO<sub>2</sub>-tarkkuusalue on 0–5000 ppm ja tarkkuus lukemasta  $\pm 3$  % tai 50 ppm. Asetuksista voi valita tallennusvälin, joka on 1 sekunnista 1 tuntiin. [4]

PHM-V1-venttiilisäätömittaria (kuva 2) käytettiin luokkatilojen ilmamäärämittauksissa. Mittalaitteessa on yli 1 000 esiohjelmoitua venttiiliä ja päätelaitetta. Sen mittaustekniikka

perustuu paine-eromittaukseen. Mittalaitteeseen ei tarvitse syöttää virtauskäyrästöjen ja k-kertoimien määrittämiä mittalaitteen esiasetettujen venttiilien takia. [1; 2.]



Kuva 2. PHM-V1-venttiilisäätömittari

PHM-V1-venttiilisäätömittarin mitta-alue  $-250 \dots +2550$  pascalia ja tarkkuus lukemasta on 1,4 prosenttia. Mittari täyttää CE-vaatimukset, eli valmistaja vakuuttaa tuotteen täyttävän sitä koskevat direktiiviset vaatimukset [1; 3]. Mittari laskee syötettyjen tietojen avulla suoraan ilmavirran yhtälöstä 1, kun valitaan mittarin muistista venttiilityyppi k-arvoineen.

$$qv = k * \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

qv on tilavuusvirta

k on ilmavirtakerroin

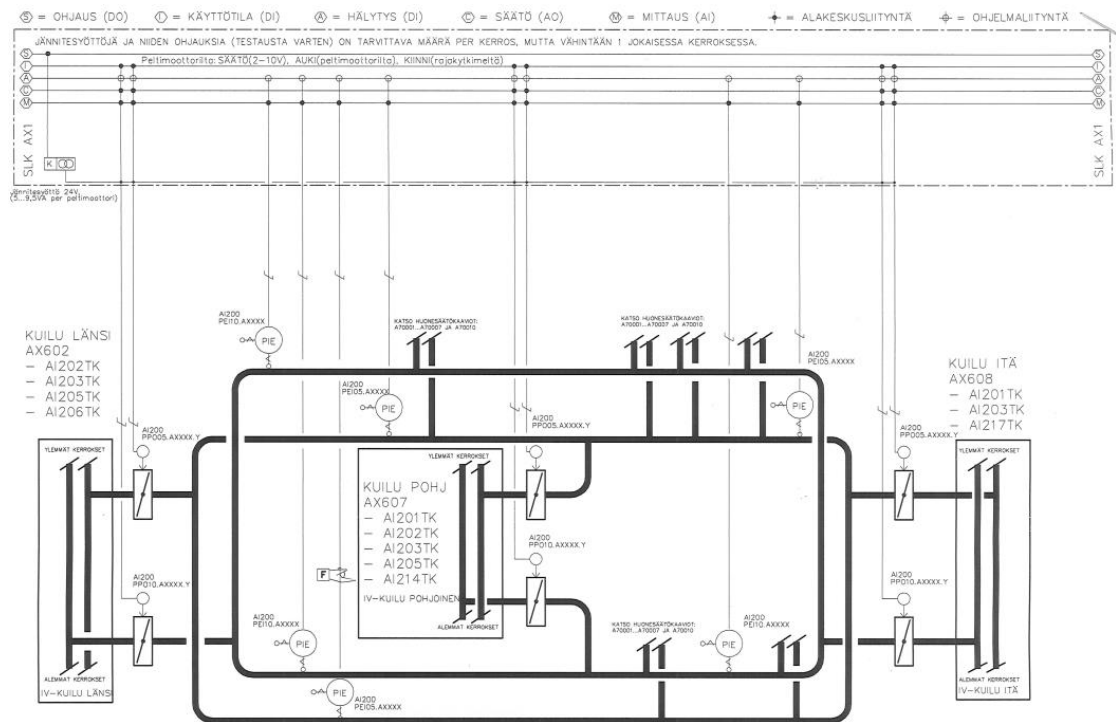
$\Delta p$  on paine-ero

## 6 Myllypuron Kampuksen tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä

Monissa rakennuksissa, kuten oppilaitoksissa, palvelutaloissa ja päiväkodeissa päivittäinen käyttötaso vaihtelee vuorokauden mittaan. Tarpeenmukainen ilmanvaihto soveltuu juuri tämän tyyppisiin rakennuksiin, joiden ilmavirtaa tulee muuttaa lämpökuorman tai epäpuhtauskuorman vaihteluiden takia. Tarpeenmukaisen säädön tehtävänä on ohjata ilmavirtoja luokahuonekohtaisesti tai vyöhykekohtaisesti. Järjestelmän perusideana on tuottaa huoneisiin haluttu määrä huoneilmaa, jonka avulla ilmavirtaa voidaan ohjata hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan tai liiketunnistimien avulla. Järjestelmän soveltuessa rakennuksen käyttötasoon voidaan säästää puhallin-, lämmitys- ja jäähdytysenergiaa [12, s. 31; 13.]

### 6.1 Myllypuron kampuksen A-talon rengaskanavajärjestelmä.

Myllypuron Kampuksen A-taloon on toteutettu monimutkainen tarpeen mukainen ilmanvaihtojärjestelmä nimeltään rengaskanavajärjestelmä (kuva 3). Rengaskanava ei päädy mihinkään, vaan yhdistyy itseensä lenkkimäisesti kerroksittain. Pystylinjat tulevat omina vetoina konekohtaisesti ja yhdistyvät toisiinsa runkokanavassa. Monimutkaisuus tulee järjestelmän monesta liikkuvasta osasta, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Yksi muutos aiheuttaa järjestelmässä muutosta monessa asiassa jatkumona. Ilmavirran kasvaminen luokkatilassa muuttaa moottoripellin avautumisasentoa suuremmaksi päätelaitteessa, jolloin kerrostason kanavapaine laskee. Kanavapaineen laskun myötä kerroskohtaiset säätävät palopellit runkokanavassa nostattavat painetta, jotka puolestaan aiheuttavat kammiopaineen laskemisen. Kammiopaineen laskiessa alle raja-arvon iv-kone vastaanottaa tiedon ja puhaltimien pyörimisnopeus nousee nostattaen kammiopaineen sopivaksi. [18]



Kuva 3. Rengaskanavajärjestelmän toteutusperiaate kerroksissa [14]

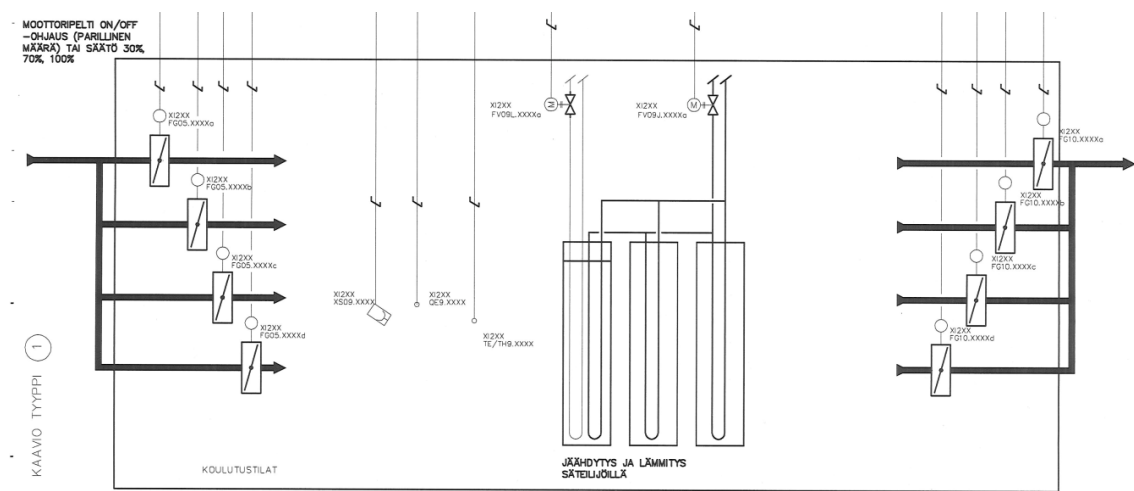
Rengaskanavajärjestelmän avulla päästään pieniin kanavakokoihin sekä muihin pienempiin fyysisiin kokoihin esimerkiksi useampaan pienempään iv-koneeseen. Järjestelmää voidaan sanoa varmennetuksi järjestelmäksi, koska järjestelmän toiminta ei ole ai-noastaan yhden iv-koneen varassa. Kuormat on jaettu usealle iv-koneelle. Jokainen kone ei puhalla yhteiseen kammioon kuten joissakin perinteisissä järjestelmissä, vaan puhaltavat useampaan eri kuiluun. Ilmanvaihtolaitoksen toiminta ei pysähdy yhden iv-koneen hajottua, sillä useampi kone puhaltaa samaan runkokanavistoon. [15]

Opinnäytetyössäni tutkitaan kuudennen kerroksen rengaskanavan toimintaa ja luokka-huonetta A6017. Kerroksissa 2–6 on kerroskohtainen tulo- ja poistoilman rengaskanava. Rengaskanava on paineohjattu, jonka automaatiojärjestelmä yrittää pitää jokaisessa ker-roksessa tarvittavan paineen asetusarvossaan säätämällä palopeltejä. Järjestelmän pa-lopellit eivät ole tavallisia vaan säätäviä palopeltejä. [15]

Rengaskanavaan on liitetty iv-koneita. Jokaiseen kerrokseen vaikuttavat omat tuloilma-koneet. IV-koneiden pyörintänopeus määräytyy säätävien palopeltien mukaan. Säätäviä palopeltejä on liityntöjen kanavissa, joihin on aseteltu tietty vakio-paine. Säätöohjelma

ohjaa palopeltejä tai luokkahuoneiden moottoripeltejä avautumaan tai sulkeutumaan. Paineen ollessa alle asetusarvon palopelti avautuu ja paineen noustessa yli asetusarvon suljetaan peltejä. [14; 15.]

A-talon kuudennen kerroksen luokkatilojen ilmajvirtoja ohjataan hiilidioksidin perusteella säätämällä moottoripeltejä (kuva 4). Vaihtelevasti pääte-elimet tarvitsevat ilmajvirtaa, jonka mukaan paine vaihtelee kanavistossa. Tulo- ja poistoilmavirta on suunniteltu yhtä suuriksi luokkatiloissa. [14.]



Kuva 4. Koulutustilojen ilmanvaihdon ratkaisuperiaatekuva

## 6.2 Ilmamääräsäädön toimintaselostus

Toimintaselostuksessa mainitaan kaikkien aseteltavien arvojen, kuten lämpötilojen, paineiden, viiveiden, aikojen ym. olevan käyttäjän muutettavissa valvomografiikasta [14].

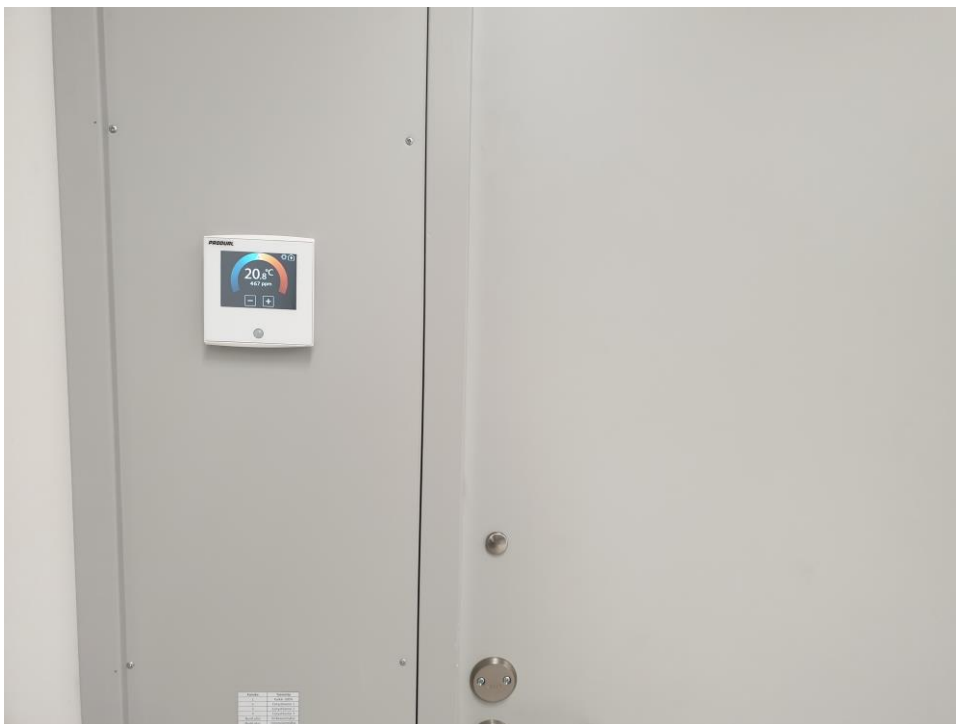
Tilan käyttöaikana ilmanvaihto on minimillä eli yhdet tai kahdet pellit auki, kunhan ilmamäärä on vähintään tilan kokonaisilmamäärästä 25 %. Läsäolotunnistimen havaitessa liikettä tai hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 650 ppm avautuvat seuraavan porrasasennon moottoripellit. Hiilidioksidin ollessa suurempi kuin 850 ppm avataan lisää moottoripeltejä. Hiilidioksidipitoisuuden laskiessa tai tilan oltua käyttämättä asetellun ajan peltejä lähdetään sulkemaan. [14.]

### 6.3 Huonetilojen ilmamääräsäädön toimintaselostus

Rengaskanavaan liitettyjen peltimoottorien toimintaan on asetettu ilmamäärät 30 %, 60 % ja 100 % tilan kokonaisilmamäärästä. Peltimoottori on auki 30 % minimi-tilassa ja 60 %, kun tilassa havaitaan liikettä läsnäolotunnistimen kautta ja 100 % auki, kun hiilidioksidin mittaukselle asetettu yläraja ylittyy. [14.]

## 7 Luokkatilojen toimilaitteet

Kuudennen kerroksen luokkatilat ovat pääosin varustettu samantyyllisillä komponenteilla ja toimilaitteilla. Ilmanvaihdon tulo- ja poistoventtiilien pääte-elimien lukumäärät vaihtelevat luokkatilan koon ja mitoitetun oppilasmäärän mukaan. Luokkatilojen ilmanvaihtoon liittyvät kenttälaitteet ovat huoneyksikkö, moottoripellit ja läsnäolotunnistin sekä pääte-elimet.



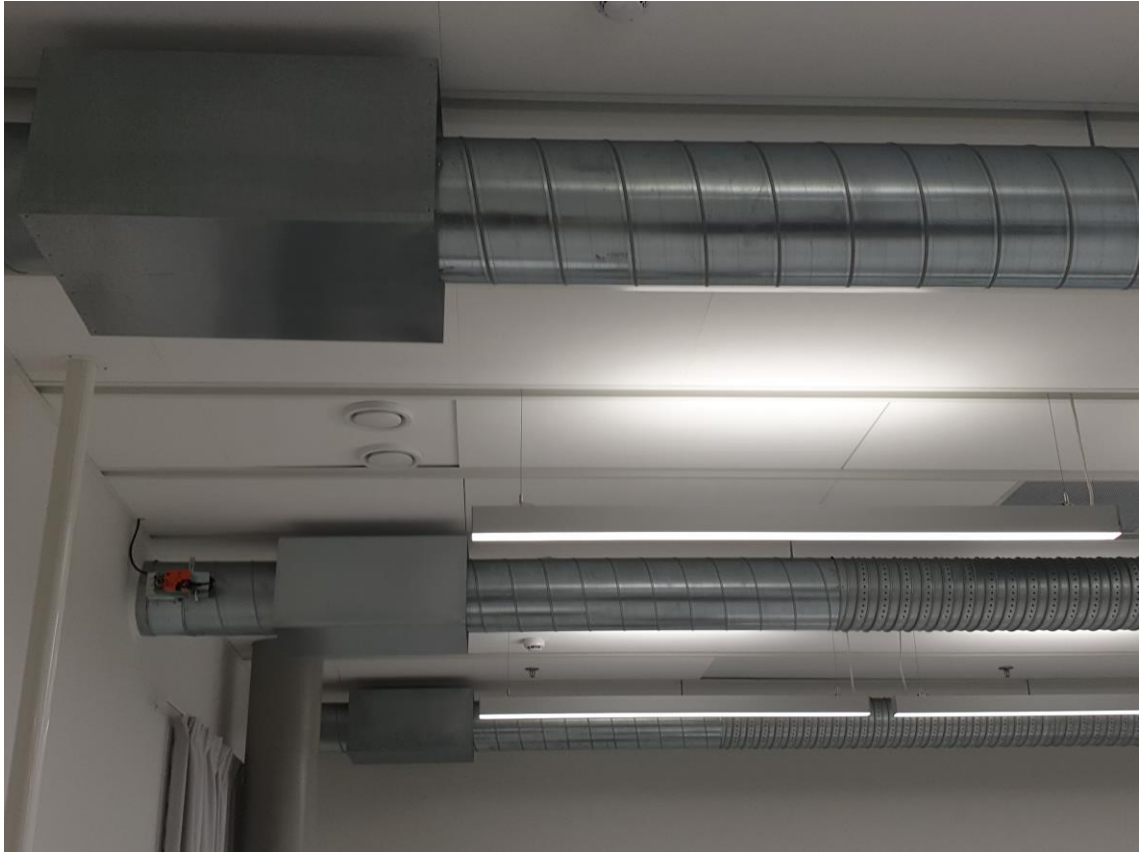
Kuva 5. Luokkatilojen huoneyksiköt on sijoitettu oven viereen

Luokkahuoneiden oven viereen sijoitetut monipuoliset ROU huoneyksiköt (kuva 5), joita voidaan käyttää välikattosäätimien kanssa ja ovat varustettu kosketusnäytöllä sisältäen hiilidioksidi- ja lämpötilamittauksen. Huoneyksiköt kommunikoivat Modbus väylän kautta antamalla dataa automaatiojärjestelmälle. Hiilidioksidin mittausta käytetään luokkatiloissa ilmanvaihdon ohjaukseen. Huoneseinäyksikön CO<sub>2</sub>-mittausalue on 0–2 000 ppm ja tarkkuus 25 °C:n lämpötilassa on tyypillisesti ±40 ppm +3 % [11].

Anturit yleensä sijoitetaan mahdollisimman lähelle keskimääräistä oleskelualueutta ja joskus myös poistokanavaan [12, s. 349]. Huoneseinäyksiköt oven vieressä altistuvat jatkuville ovenavauksille sekä mahdollisille hiilidioksidikuormituksille näyttöä katsellessa. Mielestäni anturille sopivampi paikka olisi poistoilmakanavassa tai luokkahuoneen keskellä. Kenttälaitteet yleensä sijoitetaan sellaiseen paikkaan, missä ne tuntevat mahdollisimman hyvin mitattavaa suuretta ja ovat mahdollisimman etäällä virhettä aiheutuvista häiriötilanteista [12, s. 348].

CO<sub>2</sub>-anturin sijoitus on todennäköisesti valittu ovenpieleen lähellä olevan sähköpielen takia. Huoneseinäyksikkö sisältää yhdistelmäantureita, minkä vuoksi sen kosketusnäyttöön on helposti päästävä käsiksi [17].





Kuva 6. Luokkatila

Luokkatilat (kuva 6) on varustettu tuloilmasuutinkanavilla ja poistoilmaventtiileillä sekä niihin integroiduilla moottoripelleillä ja äänenvaimentimilla. Peltimoottorit toimivat portaittain eri tehostuksilla automaatiojärjestelmän avulla. Ne ovat IMS-peltejä yksinkertaisempi ratkaisu [18]. Tuloilmasuutinakanavat sisältävät reikiä tietyllä puhalluskulmalla, joista tuloilma tuodaan sisälle.

## 8 Ryhmämittauksiin osallistuminen ja tulokset

### 8.1 Ryhmämittausten järjestely

Myllypuron Kampuksen oppilaitoksella opiskelijat suorittivat oppilaitoksen ilmanvaihtojärjestelmään mittauksia, joihin päätin osallistua. Tarkoituksena oli perehtyä mittalaitteisiin ja koulun ilmanvaihtojärjestelmään fyysisesti. Tässä vaiheessa opinnäytetyötä minulla ei ollut valvomografiikkaan katseluoikeutta.

Osallistuin useampaan ryhmämittaukseen ja pyysin ryhmiltä lupaa käyttää mittaustuloksia hyödyksi työssäni. Heille oli annettu ohjeena testata valituissa huoneissa ilmanvaihdon toimintaa luokkahuoneessa. Ryhmät olivat itse tehneet alustavan suunnitelman testata luokkahuoneiden poisto- ja tuloilmanakanavien sekä moottoripeltien toimivuutta tyhjässä-, käyttö- ja tehostustilassa. Ryhmät tutkivat ilmavirtaa erilaisilla ohjauksilla sekä ilmavirran säätöä hiilidioksidin perusteella.

Ryhmien ilmamäärämittauksia on vertailtu toimintaselostuksen mukaisiin arvoihin eli moottoripeltien asetuksiin 30 %, 60 % ja 100 % tilan kokonaisilmavirrasta. Kaikkien luokkatilojen maksimi-ilmavirrat on suunniteltu tulo- ja poistopuolelle 180 l/s [8].

Ryhmien tulokset (kuva 7) ovat suuntaa antavia ja voivat sisältää mittausrvirheitä. Ryhmät olivat itse vastuussa mittaustuloksien tarkkuudesta ja oikeellisuudesta. Ryhmät käyttivät pääsääntöisesti mittauksissa apuna PHM-V1- ja sisäilmalaadunmittaria. Ryhmät huolehtivat mittauslaitteiden asetuksista asettamalla tallennusaikavälin sopivaksi ja varmistamalla virransäästöautomaatiikan pois päältä mittareista sekä muut mahdolliset asetukset.

<b>A6007</b>									
<b>Tuloilmakanavat</b>									
	malli	koko	kanavien määrä	suunnittelu arvo l/s	kok. l/s,m	kanavan pituus	l/s	poikkeama	
	30 % fläktwoods active	250	2	180	19,7	3,5	68,95	8 %	
	60 % fläktwoods active	250	2	180	24,6	3,5	86,1	-12 %	
	100 % fläktwoods active	250	2	180	59,3	3,5	207,6	15 %	
<b>Poistokanavat</b>									
	malli	koko	kanavien määrä	suunnittelu arvo l/s	mitattu arvo l/s,m	kanavan pituus	l/s	poikkeama	
	30 % KSO	160	4	180			66,5	7 %	
	60 % KSO	160	4	180			83,8	-13 %	
	100 % KSO	160	4	180			183,6	2 %	
<b>A6008</b>									
<b>Tuloilmakanavat</b>									
	malli	koko	kanavien määrä	suunnittelu arvo l/s	kok. l/s,m	kanavan pituus	l/s	poikkeama	
	30 % fläktwoods active	250	2	180					
	60 % fläktwoods active	250	2	180	26	3,5	91	-9 %	toinen kiinni
	100 % fläktwoods active	250	2	180	48,3	3,5	169,1	-6 %	
<b>Poistokanavat</b>									
	malli	koko	kanavien määrä	suunnittelu arvo l/s	mitattu arvo l/s,m	kanavan pituus	l/s	poikkeama	
	30 % KSO	160	4	180					
	60 % KSO	160	4	180			30,9	-43 %	toinen kiinni
	100 % KSO	160	4	180			174,3	-3 %	
<b>A6011</b>									
<b>Tuloilmakanavat</b>									
	malli	koko	kanavien määrä	suunnittelu arvo l/s	kok. l/s,m	kanavan pituus	l/s	poikkeama	
	30 % fläktwoods active	250	2	180	8,5	3,5	29,75	-13 %	toinen kiinni
	60 % fläktwoods active	250	2	180	23,7	3,5	82,95	-14 %	
	100 % fläktwoods active	250	2	180					

Kuva 7. Ryhmien tulokset koottuna mittauspöytäkirjaan

## 8.2 Yhteenveto ryhmämittauksista

Ryhmämittauksien perusteella luokkatilojen toiminnoilla on eroavaisuuksia. Luokkatilassa A6007 kaikki päätelaitteet olivat käynnissä riippumatta sitä, mikä oli moottoripeltien avautumisasento. Luokkatiloissa A6008 ja A6011 havaittiin joidenkin päätelaitteiden olevan kiinniasennossa matalissa hiilidioksidipitoisuuksissa ja korkeimmissa kaikkien päätelaitteiden olevan päällä. Yhteenlaskettu keskiarvopoikkeama kaikista mitatuista tuloksista on 12 prosenttia toimintaselostuksen mukaisista suunnitteluarvoista.

## 9 Valmistelut mittauksia varten

Perehdyin kohteeseen valmistautumalla ilmamäärämittauksiin ja tutkimalla tilojen päätelaitteita sekä kuudennen kerroksen ilmanvaihdonpohjapiirustusta. Selvitin päätelaitteiden koot, tyypit, valmistajat, asennustavat ja puhalluskulmat. Päätelaitteiden ilmamäärämittauksissa noudatin valmistajan mittausohjeita, jotka löytyivät valmistajan sivuilta. Sain tarvittavat ilmanvaihtopohjapiirustukset Metropolia Ammattikorkeakoulun kautta.

Pohjapiirustuksen avulla pystyi hahmottamaan eri luokkatilat ja niihin liittyvät päätelaitteet, sekä niiden tiedot vaivattomasti. Kuudennen kerroksen luokkatiloissa oli keskimäärin 2–3 tuloilmasuutinkanavaa ja 4–6 poistoilman päätelaitetta.

Otin yhteyttä Metropolia Ammattikorkeakouluun ja opettajan kautta sain varattua koulun omistuksessa olevia ilmamäärämittareita. Tutkimuksiini pyysin yhdeksän ilmamäärämittaria, mutta koululla oli resurssina antaa vain neljä käyttöni. Vähäisen mittarimäärän takia jouduin varata enemmän aikaa mittauksiin, sillä mittareiden lukumäärän perusteella jouduin mittaamaan tulo- ja poistopäätelimet eriaikaisesti tutkittavassa luokkahuoneessa.

Vähäisen mittarimäärän vuoksi päätin tutkia vain yhden luokkatilan ilmamääriä. Tutkittavaksi luokkahuoneeksi valitsin A6017, sillä se sisälsi sopivat olosuhteet neljälle ilmamäärämittarille. Muut luokkatilat, jotka aiheuttavat kuormitusmuutoksia, olisivat sen vierellä olevat opetustilat A6018, A6019 ja A6020. Jouduin myös tarkastelemaan luokkahuoneiden tilavarauksia löytääkseni sopivan tilanteen mittauksien onnistumisille.

Selvitin tarkat tiedot valvomografiikkanäytön ilmamääräasetuksista tavoittamalla alueella vastaavan kiinteistöhoitajan, jolla oli valtuudet valvomoon. Grafiikkanäyttöön oli kytketty luokkahuoneiden peltimoottorit, jotka säätelevät luokkahuoneiden ilmavirtoja. Kirjasin grafiikassa olleet ilmamääräasetukset talteen (kuva 8).

<b>A6017</b>				
			ulk.puolella	25 %
minimi	30 %			
porras 1	47 %	650 ppm		
porras 2	75 %	750 ppm		
porras 3	100 %	850 ppm		
Tulo- ja poisto pellit				
	47 %	tilanvaihtoviive	600 s	
	47 %	711 eroalue	50 ppm	
<b>A6018</b>				
			ulk.puolella	25 %
minimi	33 %			
porras 1	51 %	650 ppm		
porras 2	75 %	750 ppm		
porras 3	100 %	850 ppm		
Tulo- ja poisto pellit				
	51 %	tilanvaihtoviive	600 s	
	51 %	eroalue	50 ppm	
	51 %	551		
<b>A6019</b>				
			ulk.puolella	30 %
minimi	30 %			
porras 1	47 %	650 ppm		
porras 2	75 %	750 ppm		
porras 3	100 %	850 ppm		
Tulo- ja poisto pellit rea.				
	30 %	tilanvaihtoviive	600 s	
	30 %	eroalue	50 ppm	
	30 %	560		
<b>A6020</b>				
			ulk.puolella	25 %
minimi	33 %			
porras 1	40 %	650 ppm		
porras 2	75 %	850 ppm		
porras 3	75 %	850 ppm		
Tulo- ja poisto pellit rea.				
	33 %	tilanvaihtoviive	600 s	
	33 %	eroalue	50 ppm	
	33 %	419		

Kuva 8. Luokkahuoneiden A6017–A2020 ilmamääräsäädöt

Kuvan 8 ilmamääräsäädöt luokkahuoneista olivat huoltomiehen muutettavissa alajako-keskuksesta. Kuvasta huomataan luokkahuoneiden ilmamääräsäätöjen olevan tapauskohtaisia ja eroavan toisistaan luokkahuoneittain, sillä porrassäädön prosenttiosuuksia pystyi muuttamaan käsin. Hiilidioksidin raja-arvot ovat pääosin samoja luokkahuoneissa luukun ottamatta luokkahuonetta A6020. Ilmamääräurakoitsijat ovat suunnittelijan antamalla tiedoilla säätänyt prosenttisuhteet saavuttaen 30 % 60 % 100 % tilan kokonaisilmamäärästä [18]. Prosenttimäärät vaihtelevat peltimoottoreista luokkahuoneittain koska järjestelmän paine vaihtelee eri kohdissa. Vaikeimmassa pääte-elimen reitissä tavalli-

sesti joudutaan kuristamaan vähiten ilmavirtaa verrattavissa helpompaan reittiin. Prosenttimäärät porras asennoissa eivät siitä syystä ole painevaihteluiden takia samanlaisia jokaisessa luokkatilassa.

Valvonta-alakeskukseen kytketyt kenttälaitteet antavat käyttäjälleen erinomaiset hyödyt tilojen seurantaan. Kohteiden tiloja ja kiinteistön kannalta oleellisia tietoja voidaan seurata etänä ja tarvittaessa parametreja voidaan muuttaa. Lisäksi on mahdollista havaita nopeasti ongelmia ja vikaantuneita laitteita [10].

Luokkahuoneiden huoneseinäyksiköiden hiilidioksidiantureiden toimivuutta testattiin kiinnittämällä sisäilmalaadunmittari huoneseinäyksikön viereen (kuva 9).

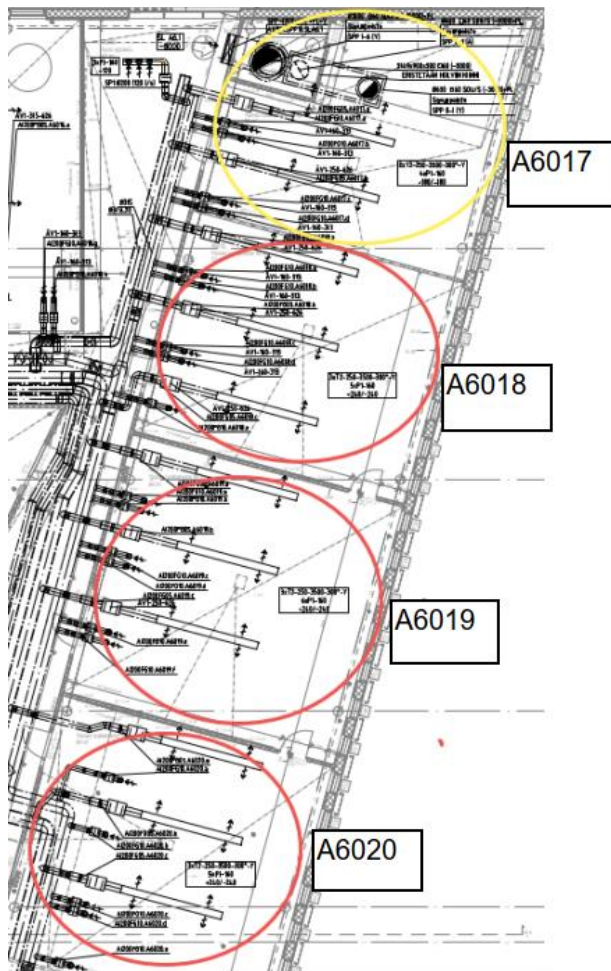


Kuva 9. Huoneseinäyksikön hiilidioksidianturin toimivuuden testaamista

Luokkahuoneiden A6017, A6018, A6019 ja A6020 huoneseinäyksiköt testattiin tällä menetelmällä. Huoneseinäyksikön ja sisäilmalaadun välillä oleva poikkeama pysyi alle 30 ppm, josta voitiin todeta huoneseinäyksiköiden olevan toimintakunnossa.

## 10 Ilmamäärämittauksien tavoitteet ja rajaus

Tavoitteena oli mitata luokkahuoneessa A6017 ilmamääriä ja seurata suunniteltujen ilmamäärien pitävyyttä eri skenaarioissa kuormittaen eri tavoin kolmea vierekkäistä luokkahuonetta A6018, A6019 ja A6020 ja myös tutkittavaa luokkahuonetta. Tarkoituksena oli selvittää pysyvätkö ilmamäärät luokkahuoneessa A6017 porrasasetuksien mukaisina kuormittaen rengaskanavan luokkahuoneita erilaisissa skenaarioissa, sekä vertailla poikkeamien ja menetelmien eroja keskenään. Luokkahuone A6017 toimi tutkittavana kohteena, ja sen toimintaa tarkasteltiin kytkemällä poisto- ja tulopäätelaitteisiin ilmamäärämittarit. Jokaisessa ilmamäärämittauksessa tulo- ja poistoilman päätelaitteiden ilmamääriä ei mitattu samanaikaisesti vaan poisto- ja tulo puoli suoritettiin aina omana mittauksena.

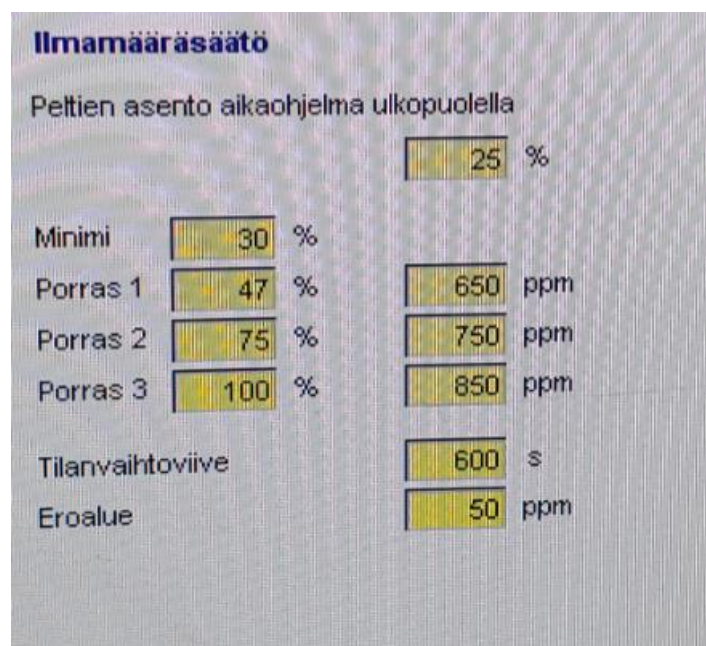


Kuva 10. Tarkasteltavat luokkahuoneet [8]

Kuvan 10 toimintakokeen alueeksi rajattiin neljä luokkahuonetta A6017, A6018, A6019 ja A6020. Keltaisella ympyröity päätyluokkahuone A6017 toimi ilmamäärien osalta tarkasteltavana ja tutkittavana luokkahuoneena. Punaisella ympyröidyt luokkahuoneet A6018, A6019 ja A6020 eivät kuuluneet tutkittaviin luokkahuoneisiin, vaan suorittivat eritasoisia hiilidioksidikuormitusmuutoksia eri tilanteissa vaikuttaen rengaskanavajärjestelmän paineeseen ja mahdollisesti myös tutkittavan luokkatilan ilmamääriin. Kuormitusmuutoksissa luokkahuoneiden moottoripellit avautuivat eri asentoihin, ja rengaskanavajärjestelmän paine vaihteli muutostilanteissa.

## 11 Tutkittavan luokkahuoneen ilmamääräsäädöt grafiikassa A6017

Kuvassa 11 on esitetty alajakokeskuksen valvomografiikan ilmamääräsäädön asetukset luokkahuoneelle A6017.



Kuva 11. Luokkahuoneen A6017 ilmamääräsäätöasetukset



Automaatiosuunnittelijan mukaan toimintaselostuksen perusajatuksena oli suunnitella ilmamäärät 30 %, 60 % ja 100 % tilan kokonaisilmavirrasta [14]. Moottoripeltien prosenttimäärät tilan kokonaisilmavirrasta oli kuitenkin määritelty eri arvoihin valvomografii-kassa. Grafiikassa on kolme porrassasentoa sekä minimiasento. Minimiasento kytkeytyy päälle, jos se on aikaohjelman ulkopuolella. Aikaohjelma on päällä jatkuvasti, joten minimiasentoa ei mittauksissa huomioida. [19]

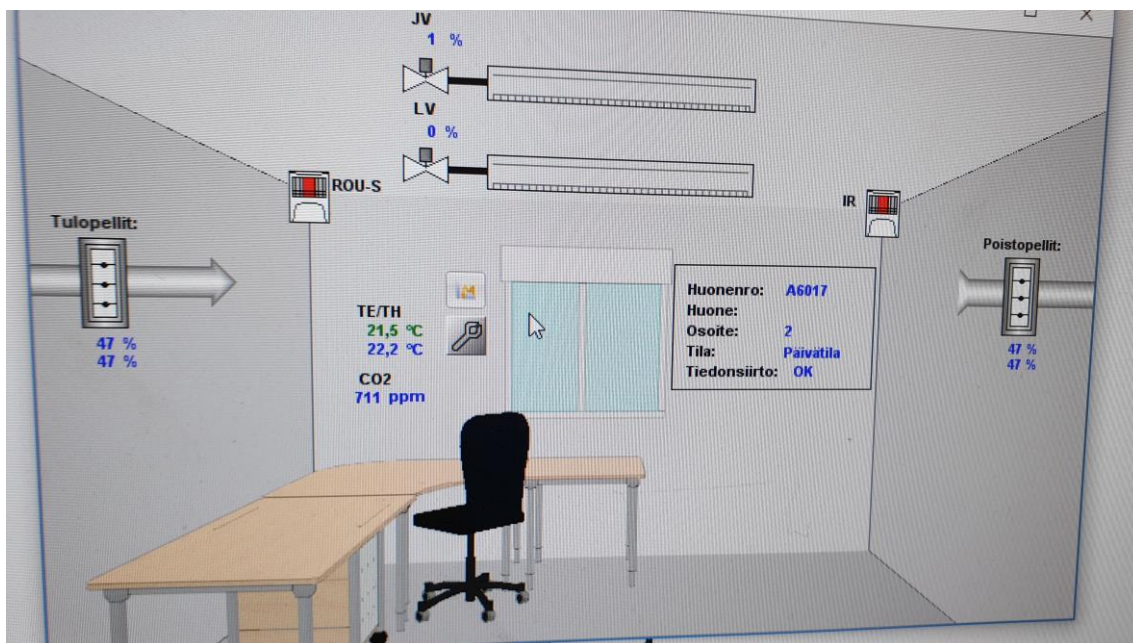
Luokkahuoneen peltimoottorien porrassasennot 1–3:

- Porras 1 = 47 % = 650 ppm
- Porras 2 = 75 % = 750 ppm
- Porras 3 = 100 % = 850 ppm

Kun hiilidioksidiarvot ovat alle 650 ppm, on ensimmäinen porrassasento päällä. Toinen porrassasento on päällä, kun hiilidioksidipitoisuudet ovat väliltä 650–750 ppm. Kolmas eli viimeinen porrassasento kytkeytyy päälle hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 850 ppm. [14.]

Luokkahuoneen tilanvaihtoviiveenä on 600 sekuntia eli 10 minuuttia. Tilanvaihtoviive on viive, jonka ajan odotetaan moottoripeltien asennon vaihtoa. Esimerkiksi, jos ollaan porrassasennoissa 3 ja hiilidioksidipitoisuus putoaa alle raja-arvon 850 ppm, odotetaan kymmenen minuuttia ja vasta sitten siirrytään portaalle 2. Eroalueena on 50 ppm. Hiilidioksidin rajan ollessa 750 ppm tapahtuu portaalle 2 meneminen kohdalla 700 ppm. [15.]

Valvonta-alakeskuksesta on myös mahdollista seurata reaaliaikaisia arvoja luokkahuoneista (kuva 12).



Kuva 12. Luokkatila A6017

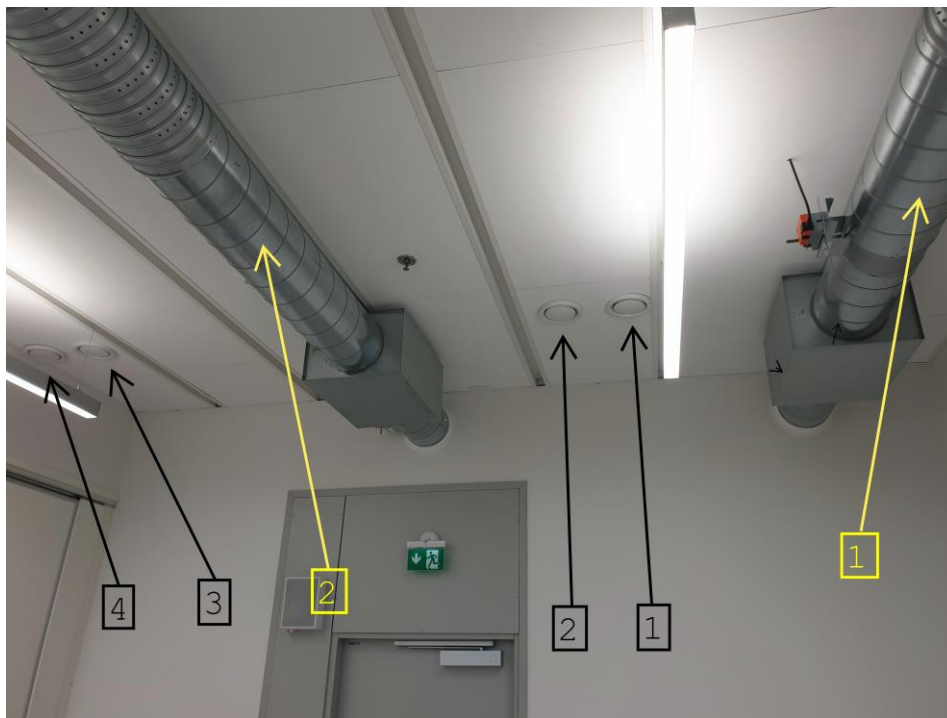
Kuvassa 12 sinisellä merkityt arvot ovat reaaliaikaisia arvoja luokkahuoneesta A6017. Reaaliaikaisista arvoista huomataan tulo- ja poistopeltimoottorien olevan 47 % auki, kun hiilidioksidipitoisuus on 711 ppm. Reaaliaikaiset arvot osoittavat ilmamääräsäädön olevan porrassasennossa 1, koska hiilidioksidipitoisuus on alle 750 ppm.

Hiilidioksidianturin lukemaa grafiikasta ei ollut mahdollista muuttaa käsiohjauksella mieluisaksi normaalin käyttäjän kautta. Muutos vaatisi I/O-moduulille asti menemistä, jotta analogista mittaviestiä päästäisi muokkaamaan [15]. Tästä syystä mittauksissani suoritin hiilidioksidikuormitukset fyysisesti hengityksen kautta.

## 12 Luokkatilan A6017 päätelaitteiden mittausohje

Päätelaitteiden mittausohjeet on laadittu luokkatilan A6017 ilmamäärämittauksien yhteydessä. Kaikki puhalluskulmat, koot, asennustavat, päätelaitteiden tiedot sekä kuvat ovat peräisin luokkahuoneesta A6017. Tarkemmat tiedot päätelaitteista löytyvät mittauspöytäkirjoista.

Ennen ilmamäärämittauksia kannattaa numeroida päätelaitteet ja niihin liittyvät ilmamäärämittarit. Numeroinnin perusteella vältetään sekaannuksilta ja mittausvirheiltä. Kuvassa 13 ovat luokkahuoneen A6017 päätelaitteet numeroituna, ja numerointi löytyy myös mitauspöytäkirjoista.



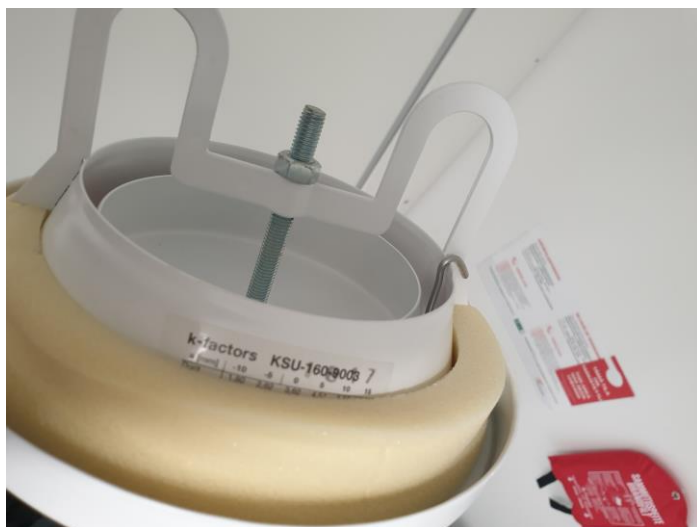
Kuva 13. Tutkittavan luokkahuoneen A6017 päätelaitteet numeroituna

## 12.1 Lindab KSU -poistoilmaventtiili

Poistoilmamäärän mittalaitteen syöttötietoja varten on selvittävä ensin poistoilmaventtiilin koko, tyyppi, a-arvo ja asennustapa kanavan liitoskohtaan. Nämä tiedot syötetään mittariin ennen poistoventtiilin ilmamäärämittausta.

Tilassa olevan poistoventtiilin venttiilityypin ja koon voi selvittää yleensä irrottamalla venttiilin kanavasta kiertämällä ulkokehästä vastapäivään. KSU- poistoilmaventtiili soveltuu seinä- ja kattoasennuksiin [6]. Korkealla olevan päätelaitteen irrotukseen kannattaa käyttää turvallisuussyistä tikkaita. Päätelaitteen irrotuksen yhteydessä on suositeltavaa

puhdistaa venttiili samalla, koska suuret määrät pölyä ja likaa voivat heikentää sen toimintaa. Hengityslitto suosittelee päätelaitteen puhdistamista kerran vuodessa. [5]



Kuva 14. Poistoilmaventtiili KSU-160

Kuvassa 14 poistoilmaventtiilin kyljessä on tarralappu, jossa lukee venttiili tyyppi KSU ja sen perässä on venttiilin koko 160. Tarrat saattavat myös kulua tai irrota pois vuosien varrella, jolloin niiden lukeminen on hankalaa. Ilmanvaihdon pohjapiirustuksiin kannattaa tukeutua, jos venttiilin tarra on kulunut pois tai venttiiliä ei saa irrotettua.



Kuva 15. Poistoilmaventtiili irrotettu välikatosta

Kuvassa 15 poistoilmaventtiilin irrotuksen jälkeen nähdään päätelaitteen liitosyhteys kanavaan. Asennustapa päätelaitteeseen on toteutettu 90:n asteen iv-kanavan kulmalla.

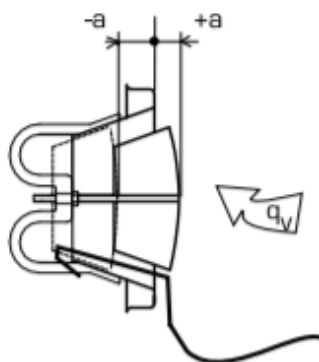
Poistoilmaventtiili sisältää keskikartion ja sen syvyyttä voi säädellä kiertämällä keskiosaa vasta- tai myötäpäivään. Keskikartion syvyys vaikuttaa päätelaitteen lävitse kulkevaan ilmamäärään, ja k-arvo-taulukoiden keskikartion syvyyttä havainnoidaan a-arvolla.



Kuva 16. Rakotulkki

Rakotulkin avulla (kuva 16) saadaan mitattua poistoventtiilin koko ja  $a$ -arvo. Mittatulkki asetetaan poistoilmaventtiilin päälle ja keltainen keskiosa kertoo poistoilmaventtiilin keskikartion syvyyden.

Ennen mittalaitteen syöttötietojen asettamista mittalaitteen näytön valikosta nollataan paine ja sen jälkeen syötetään venttiilin tyyppi, koko,  $a$ -arvo ja asennustapa [1]. Ilmaletku kiinnitetään mittarin plus- tai miinusnapaan ja letkun toinen pää varustetaan mittakoukulla, joka asetetaan poistoilmaventtiiliin (kuva 17).

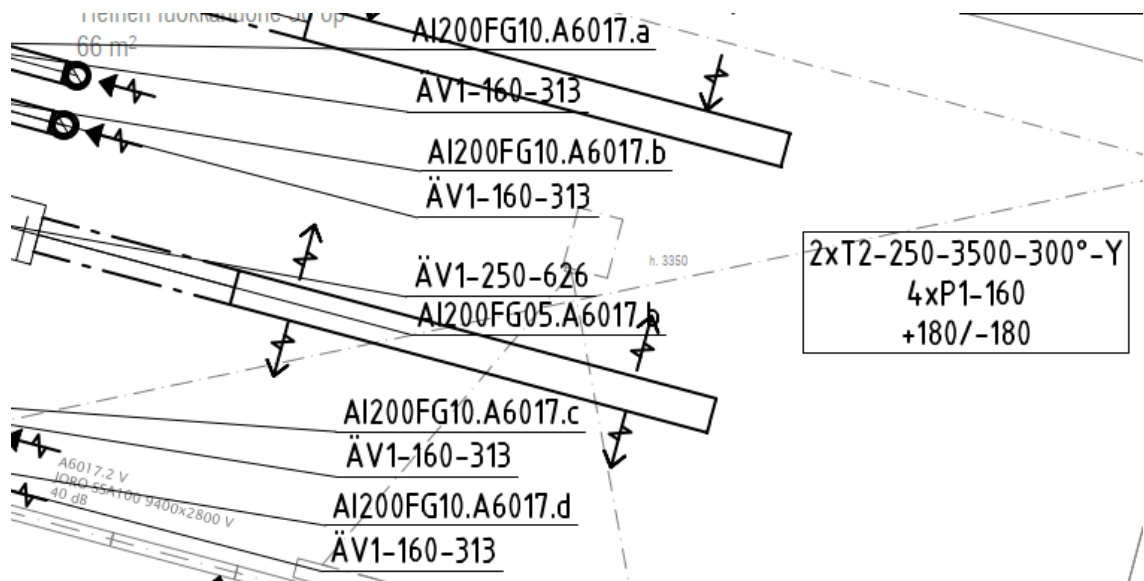


Kuva 17. Mittauskoukku poistoventtiilissä [7]

Poistoventtiiliin asennetun mittauskoukun ja mittarille syötettyjen tietojen jälkeen voidaan ilmamäärämittaukset aloittaa.

## 12.2 Fläktwoods Activent -suutinkanava

Ennen tuloilmaventtiilin ilmamäärämittauksia on selvitettävä mittalaitteen syöttötietoja varten tuloilmakanavan tyyppi, koko, puhalluskulma ja kanavan pituus. Suutinkanavan koon eli kanavapäädyn halkaisijan ja pituuden voi mitata esillä olevasta suutinkanavasta. Parhaiten selvitettävät tiedot löytyvät kuitenkin ilmanvaihtopiirustuksista (kuva 18) ja valmistajan sivuilta.



Kuva 18. Ilmanvaihdon pohjapiirustus [8]

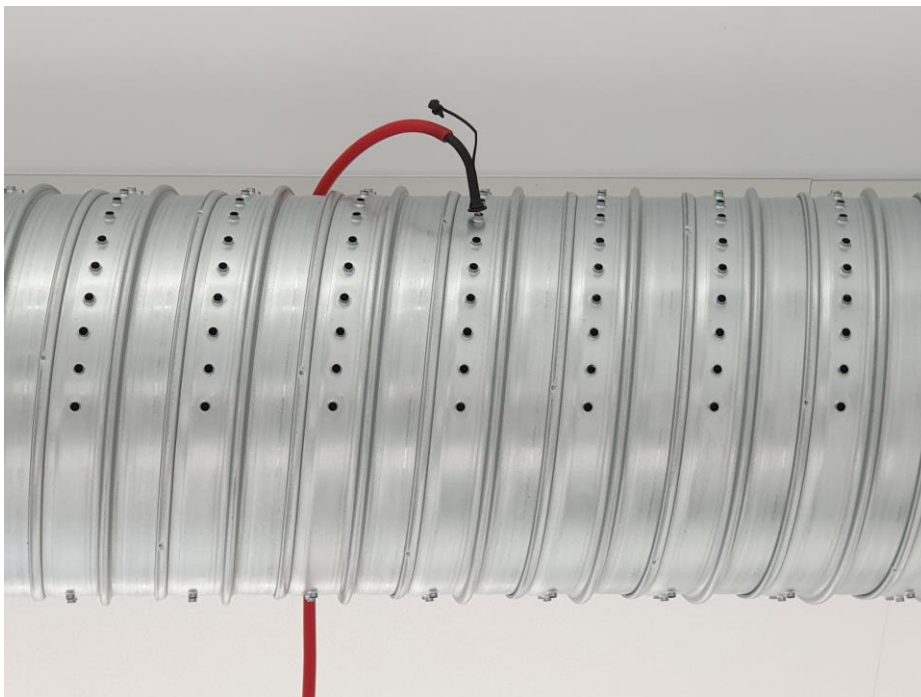
Kuvassa 18 ilmanvaihdon pohjapiirustuksesta nähdään luokkatilan suutinkanavan koko, pituus ja puhalluskulma sekä myös poistoventtiilin tiedot. Puhalluskulma tarkoittaa suutinkanavan aukkoja ja niiden kulmaa, joista tuloilma virtaa tasaisesti. Suutinsektoreita valmistetaan useilla eri puhalluskulmilla [9].



Kuva 19. Suutinkanavan puhallusaukot

Kuvassa 19 suutinkanavan puhallus on toteutettu ylöspäin ja suutinkanavan puhalluskulma on 300. Katsoessa tarkemmin kuvaa kanavan ympärillä olevat reiät eivät jatku kokonaan kanavan ympäri, vaan päättyvät 300:seen. Suutinkanavien puhalluskulma on valittu yleensä sovelluskohteen mukaan. Ylöspäinpuhallus sopii yleisesti useimpiin tiloihin ja VAV-järjestelmiin. Lisäksi ylöspäinpuhalluksella on hyvät säätömahdollisuudet lämpötilan ja ilmavirtauksen osalta laajalta alueelta [9].

Seuraavassa vaiheessa ilmamäärämittariin syötetään kanavan koko, pituus, tyyppi ja puhalluskulma ja sen jälkeen nollataan painemittari ilman letkupäitä [1]. Painemittarin nollauksen jälkeen ilmaletku kiinnitetään mittarin plus- tai miinusnapaan ja asetetaan letkun toiseen päähän mittakoukku, joka asetetaan suutinkanavaan (kuva 20).



Kuva 20. Mittausletku suutinpäällä yhdistetty kanavaan

Ilmaletkun suutinpää on sijoitettu kanavaosan keskelle (kuva 20). Suutinkanavassa oli kaksi kanavaosaa yhdistetty toisiinsa. Ilmavirta määritetään suorittamalla mittaus jomankumman kanavaosan keskeltä. Yhdessä kanavaosassa oli 22 riviväliä, joten mittaus suoritettiin riviväliltä 11 [9].



### 13 Mittaukset 1–4 luokkatilassa A6017

Mittaukset 1–4 (kuva 17) on toteutettu pääasiassa luokkatilan moottoripeltien porrasasennossa yksi ja kolme lukuun ottamatta mittausta yksi, johon toteutui porrassasento kaksi. Mittauspöytäkirjojen ilmamäärämittausten suoritukset käydään vaiheittain läpi. Luokkatilojen hiilidioksidipitoisuuksia nostettiin fyysisesti hengittämällä hiilidioksidia huoneinäyksiöihin.

Porrassasennot toteutuvat toimintaselostuksen mukaisesti eri hiilidioksidiarvoilla. Porrassasento yksi toteutuu hiilidioksidipitoisuuksien ollessa alle 650 ppm. Porrassasento kaksi toteutuu hiilidioksidilukemien ollessa 650–850 ppm ja porrassasento kolme hiilidioksidilukemien ylittäessä raja-arvon 850 ppm. Toimintaselostuksessa mainittiin läsnäolotunnistimen vaikuttavan ilmamääriin. Haastateltaessa automaattisuunnittelijaa ja kohteella toimivaa kiinteistöhoitajaa, läsnäolotunnistimella ei pitäisi olla vaikutusta ilmamääriin. Mittauksissa ei huomioitu toimintaselostuksessa mainittua läsnäolotunnistimen vaikutusta.

Poisto- ja tulopuolen ilmamäärämittaukset ovat jokaisessa mittauksessa mitattu erikseen, joka luo enemmän varmuutta mittaustuloksiin. Mittauksien lukemia ei ole heti otettu ylös, vaan jokaisen mittauksen kohdalla on pyritty odottamaan moottoripeltien reagointia hiilidioksidipitoisuuksien muutokseen. Tulo- ja poistopuolen moottoripellit pitävät ääntä muuttaessaan asentoa ja jokaisen mittauksen kohdalla on odotettu vähintään noin 10 minuuttia ennen tuloksien ottamista. Alajakokeskuksen valvomografiikan mukaan luokkatiloissa A6017, A6018, A6019 ja A6020 on tilanvaihtoviiveenä 10 minuuttia ja eroalueena 50 ppm. Ilmamäärämittauksista laadittiin mittauspöytäkirja (kuva 21).

<b>Mittaus 1, muissa luokkatiloissa oppilaita</b>											
<b>Tuloilmakanavat A6017, porras 2</b>											
CO2	porras 2	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
685	75 %	2	250	2	12,6	3,5	44,1	44,1	67,5	-23,4	-35
<b>Mittaus 2, muissa luokkatiloissa oppilaita</b>											
<b>Tuloilmakanavat A6017, porras 3</b>											
CO2	porras 3	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
1200	100 %	1	250	3	14	3,5	49	124,3	180	-55,75	-31
1200	100 %	2	250	7	21,5	3,5	75,25				
<b>Mittaus 3, muut luokkatilat tyhjiä</b>											
<b>Poistokanavat A6017, porras 1</b>											
CO2	porras 1	päätelaitte	koko	k	a	pa	l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
503	47 %	1	160	k3	6	27,9	26,6	97,5	84,6	12,9	15
503	47 %	2	160	k3	5	29,8	26,3				
503	47 %	3	160	k3	5	18,1	20,5				
503	47 %	4	160	k3	6	23	24,1				
<b>Tuloilmakanavat A6017, porras 1</b>											
CO2	porras 1	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
491	47 %	1	250	4	15,9	3,5	55,65	112,7	84,6	28,1	33
491	47 %	2	250	4	16,3	3,5	57,05				
<b>Mittaus 4, muut luokkatilat tyhjiä</b>											
<b>Poistokanavat A6017, porras 3</b>											
CO2	porras 3	päätelaitte	koko	k	a	pa	l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
1911	100 %	1	160	k3	6	54,1	36,9	143,2	180	-36,8	-20
1911	100 %	2	160	k3	5	53,7	35,3				
1911	100 %	3	160	k3	5	50,1	34,1				
1911	100 %	4	160	k3	6	53,9	36,9				
<b>Tuloilmakanavat, porras 3</b>											
CO2	porras 3	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
3000	100 %	1	250	12	28,1	3,5	98,35	177,8	180	-2,2	-1
3000	100 %	2	250	8	22,7	3,5	79,45				

Kuva 21. Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjassa verrataan luokkatilan suunnitteluarvoja ja mitattuja ilmamääriä. Suunnitteluarvot on laskettu valvomo- ja moottoripeltien porrassasentojen prosenttimääristä ja tilan kokonaisilmavirran avulla. Luokkatilalle A6017 suunniteltu kokonaisilmamäärä on tulo- ja poistopuolelle 180 l/s [8]. Moottoripellin ollessa porrassasennossa 1 eli 47 %, jolloin suunniteltu ilmavirta luokkahuoneelle on  $0,47 \cdot 180 \text{ l/s} = 84,6 \text{ l/s}$ . Automaatiosuunnittelijan mukaan kyseisellä tavalla lasketut suunnitteluilmavirrat ovat vain arvioita [15].

Ilmamäärämittareihin asetettiin tarvittavat syöttötiedot. Tuloilmapuolen Activent-päätelaitteista mitattu ilmavirta saatiin yksikössä l/s, m, joka on kerrottu kanavan pituudella. Jokaisen tuloilmakanavan pituus oli 3,5 m [8]. Lisäksi mittauspöytäkirjasta saadaan muut oleelliset tiedot päätelaitteista. Samalla periaatteella on suoritettu myös pussitekniikalla olevat mittaukset 5–6.

### 13.1 Mittaus 1: Alhainen CO<sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat täynnä oppilaita

Ensimmäisessä mittauksessa mitattiin luokahuoneen A6017 ilmamäärät luokahuoneiden A6018, A6019 ja A6020 ollessa täynnä oppilaita, eli tiloissa tapahtui tavallista opetusta. Tässä mittauksessa ehdittiin ainoastaan mitata tuloilmakanavia, koska opetus alkoi päättymään luokkatiloissa siirtyessäni poistoventtiilin mittauksiin.

Luokkatilassa A6017 hiilidioksidipitoisuus huoneseinäyksikön mukaan oli 685 ppm mitausten aikana. Luokkatilaan saavutettiin porrasasento 2, koska hiilidioksidi oli 650-850 ppm välillä. Toisen tuloilmakanavan ilmamäärämittauksen osalta saattoi tapahtua virhe, koska mittauksessa ei saatu mitään lukemia toisesta tuloilmakanavasta. Pidän vain kelvollisena toisen tuloilmakanavan arvoja. Lähempänä ovea tuloilmakanavan arvoksi tuli mitausten aikana 44,1 l/s. Mittauspöytäkirjan poikkeamaprosentissa on oletettu epäkelvollisen tuloksen puhaltavan saman määrän ilmaa kuin kelvollinen. Poikkeamaksi tuli – 35 prosenttia suunnitteluarvosta.

### 13.2 Mittaus 2: Korkea CO<sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat täynnä oppilaita

Mittauksen 2 suorituksessa toteutettiin korkea hiilidioksidipitoisuus puhaltamalla huoneseinäyksikköön hiilidioksidia suun kautta 1 200 ppm, jolloin peltimoottorit menivät luokkatilassa A6017 porrasasentoon 3. Viereisissä luokkatiloissa tapahtui tavallista opetusta. Luokkatilan tuloilmasuutinkanavasta saatiin yhteensä 124,2 l/s, joka on –31 prosenttia suunnitteluarvosta.

### 13.3 Mittaus 3: Alhainen CO<sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat tyhjinä

Mittaukset luokkahuoneessa A6017 aloitettiin luokkahuoneiden A6018, A6019 ja A2020 ollessa täysin tyhjänä ja valojen sammuttua luokkatiloissa. Valot sammuihin keskimäärin viereisissä luokkahuoneissa noin 25 minuutin kuluessa.

Huoneseinäyksikön anturin annettiin olla lepotilassa, ja se näytti lukemaa 503 ppm mitausten aikana, jonka perusteella luokkatilassa saavutettiin porrassasento 1. Poistoilmakanavien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi saavutettiin 97,5 l/s (kuva 18), joka on +15 prosenttia suunnitteluarvosta.



Kuva 22. Poistoilmaventtiilien ilmamäärät ja paine-erot

Samalla menetelmällä ja kriteereillä mitattiin myös tulopuoli. Tuloilmasuutinkanavien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi saatiin 112,7 l/s, joka on +33 prosenttia suunnitteluarvosta

### 13.4 Mittaus 4: Korkea CO<sub>2</sub> ja viereiset luokkatilat tyhjinä.

Poistoilmaventtiilien mittauksessa puhallettiin huoneseinäyksikköön hiilidioksidia 1 911 ppm, eli saavutettiin porrassasento 3. Poistoventtiilien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi saatiin 143,2 l/s, joka on –20 prosenttia suunnitteluarvosta.

Tuloilmasuutinkanavien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi saatiin 177,8 l/s, joka on –1 prosenttia suunnitteluarvosta.

## 14 Pussitekniikalla suoritettut mittaukset

Tällä uudella menetelmällä lähestyttiin luokkatilojen hiilidioksidipitoisuuksien nostamista ilman tavallista henkilökuormaa. Tarkoituksena oli saavuttaa korkea hiilidioksidipitoisuus luokkatiloihin kiinnittämällä pussi teipaten huoneseinäyksikön päälle ja puhaltamalla siihen hiilidioksidia. Menetelmä soveltuu henkilöille, joilla ei ole käyttöoikeuksia valvontalakeskukseen tai mahdollisuuksia muuttaa hiilidioksidipitoisuuksia valvomografiikan kautta.

Luokkahuoneiden ROU-seinäyksikköihin on integroitu hiilidioksidianturi, jonka takia pus- sit teipataan niiden ympärille. Luokkahuoneiden kuormitukset pussitekniikan avulla nopeuttavat ja helpottavat rengaskanavan testaamista opinnäytetyössäni. Ennen menetelmän käyttöönottoa suoritettiin toimintakoe hiilidioksidin pitävyydestä (kuvat 23 ja 24).



Kuva 23. Pussi valmiina hiilidioksidipuhallusta varten.

Kuvassa 23 pussin toinen puoli on jätetty teippaamatta, jotta sen kautta siihen päästään puhaltamaan hiilidioksidia. Puhalluksen jälkeen teippaamaton puoli teipataan mahdollisimman nopeasti kiinni.



Kuva 24. Hiilidioksidi puhallettu pussiin

Kuvassa 24 pussiin on puhallettu hiilidioksidia mahdollisimman paljon ja toinen puoli on teipattu kiinni. Puhalluksen jälkeen huoneseinäyksikkö näytti hiilidioksidilukemaksi 10 000 ppm.

Hiilidioksidipitoisuuksien putoamista seurattiin ottamalla aikaa sekuntikellosta:

- 0 min = 10 000 ppm
- 1 min = 4 000 ppm
- 2 min = 3 337 ppm

- 4 min = 3 211 ppm
- 5 min = 2 529 ppm
- 9 min = 1 900 ppm
- 11 min = 1 400 ppm
- 22 min = 888 ppm

Koetestillä saatiin pidettyä noin 22 minuuttia luokkatilan hiilidioksidipitoisuudet yli 850 ppm:ssä eli moottoripeltien kolmannessa porrassasennossa. Koetesti antoi varsinaisen hyvät mahdollisuudet pussitekniikan käyttöön luokkatilojen hiilidioksidikuormituksia varten. Hiilidioksidin pitävyys pussissa riippuu teippauksen huolellisuudesta, edellyttäen pussin olevan ehjässä kunnossa sekä teippaamisen olevan pikaista heti puhalluksen jälkeen.

## **15 Mittaukset 5–6 pussitekniikalla luokkatilassa A6017**

Pussitekniikan avulla jokaisessa mittauksessa pyrittiin saavuttamaan viereisiin luokkatiloihin A6018, A6019 ja A6020 mahdollisimman korkea hiilidioksidipitoisuus saavuttaen moottoripelteihin kolmannen porrassasennon. Tutkittavassa luokkahuoneessa A6017 saavutettiin moottoripeltien porrassasennot 1 mittauksessa 5 ja 3 mittauksessa 6.

Poisto- ja tulopuolen ilmamäärämittaukset on mitattu aina erillisenä mittauksena. Mittauksissa on pyritty odottamaan moottoripeltien avautumista ja reagointia hiilidioksidipitoisuuksien muutoksiin samalla periaatteella kuin mittauksissa 1–4.



Mittaus 5, muissa tiloissa mahdollisimman korkea CO2 pussiteknikalla											
Tuloilmakanavat A6017, porras 1											
CO2	porras 1	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
488	47 %	1	250	2	12,2	3,5	42,7	86,1	84,6	1,5	2
488	47 %	2	250	2	12,4	3,5	43,4				
Poistokanavat, porras 1											
CO2	porras 1	päätelaitte	koko	k	a	pa	l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
465	47 %	1	160	k3	6	23,8	24,5	86	84,6	1,4	2
465	47 %	2	160	k3	5	24,9	24				
465	47 %	3	160	k3	5	15,3	18,9				
465	47 %	4	160	k3	6	13,7	18,6				
Mittaus 6, muissa tiloissa mahdollisimman korkea CO2 pussiteknikalla											
Poistokanavat A6017, porras 3											
CO2	porras 3	päätelaitte	koko	k	a	pa	l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
10000	100 %	1	160	k3	6	41,1	33,4	129,7	180	-50,3	-28
10000	100 %	2	160	k3	5	44,2	32				
10000	100 %	3	160	k3	5	43,5	31,7				
10000	100 %	4	160	k3	6	42	32,6				
A6017											
Tuloilmakanavat A6017, porras 3											
CO2	porras 3	päätelaitte	koko	pa	l/s,m	pituus	kok. l/s	yht. l/s	suun. l/s	poikk. l/s	%
4000	100 %	1	250	9	24,5	3,5	85,75	155,1	180	-24,95	-14
4000	100 %	2	250	6	19,8	3,5	69,3				

Kuva 25. Mittauspöytäkirja

### 15.1 Mittaus 5 Alhainen CO<sub>2</sub> ja viereisissä luokkatiloissa korkea CO<sub>2</sub>

Viidennessä mittauksessa viereisiin luokkatiloihin A6018, A6019, A6020 pyrittiin pussiteknikan avulla saavuttamaan maksimihiilidioksidikuormitus porrassasennossa 3. Luokahuoneen pussit teipattiin osittain valmiiksi jättämällä teippauksesta toinen puoli auki puhallusta varten. Hiilidioksidit puhallettiin vuorotellen jokaiseen luokkatilaan järjestyksessä ja puhalluksien jälkeen teipattiin pussi umpeen. Tutkittavassa luokkatilassa saavutettiin porrassasento 1.

Tuloilmakanavien tilavuusvirraksi saatiin yhteensä 86,1 l/s, joka poikkeaa suunnitteluvasta +2 prosenttia.

Poistoilmakanavien tilavuusvirraksi saatiin yhteensä 86 l/s, joka poikkeaa suunnitteluarvosta +2 prosenttia.

## 15.2 Mittaus 6: Kaikissa luokkatiloissa korkea hiilidioksidipitoisuus

Kuudennessa mittauksessa kuormitettiin kaikkia huoneita maksimaalisesti eli pyrittiin kaikkiin luokkahuoneisiin saavuttamaan porrassento 3. Hiilidioksidi puhallettiin jokaiseen neljään luokkahuoneeseen pussitekniikan avulla. Mittauksessa jouduttiin uusimaan yksi pussi reiän takia. Pussien pitävyys vaihteli luokkatiloissa, joten mittauksen aikana jouduttiin mennä useampaan otteeseen puhaltamaan hiilidioksidia pusseihin ja uusimaan teippauksia.

Poistoilmakanavien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi tuli 129,7 l/s, joka poikkeaa suunnitteluarvosta –28 prosenttia.

Tuloilmakanavien yhteenlasketuksi tilavuusvirraksi tuli 155,5 l/s, joka poikkeaa suunnitteluarvosta –14 prosenttia.

## 16 Mittauksien analysointi ja päätelmät

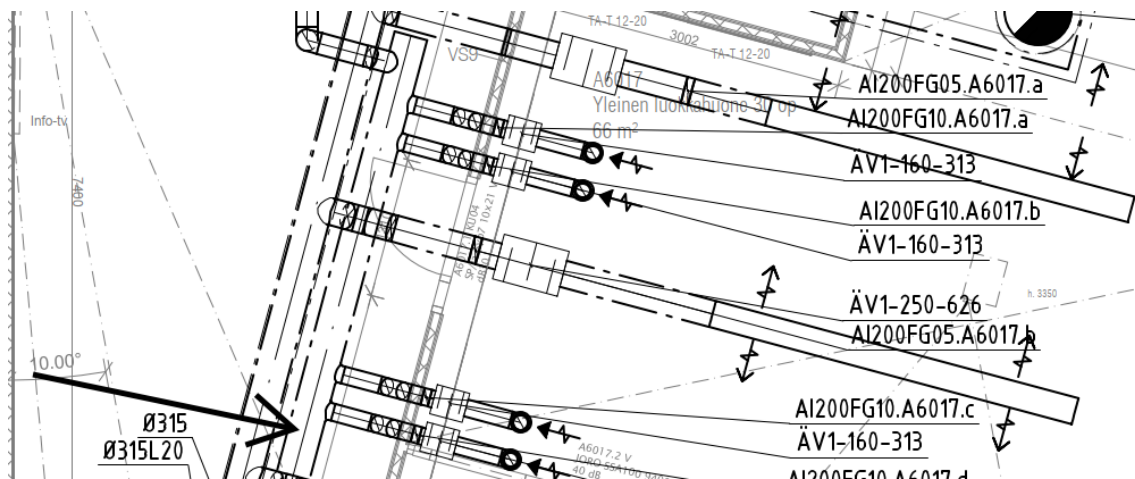
Pussitekniikalla ja oikealla ihmiskuormalla suoritettut vertailukelpoiset maksimimittaukset kaksi ja kuusi eroavat toisistaan 17 prosenttia tuloilman osalta. Molempien menetelmien mittauksista kuitenkin huomattiin ilmavirtojen jäävän alle suunnitteluarvojen, kun kaikkia neljää luokkatilaa kuormitettiin maksimaalisesti. Mittauksissa 1 ja 2 saavutettiin alhaisimmat ilmavirrat suunnitteluarvoistaan, kun kolme viereistä luokkatilaa oli täynnä ihmisiä. Viereisten luokkatilojen ollessa tyhjinä ja tutkittavan luokkahuoneen ollessa alhaisilla hiilidioksidipitoisuuksilla päästiin suunnitteluarvojen yläpuolelle normaalimittauksissa. Mittaustulosten perusteella voidaan olettaa rengaskanavajärjestelmän toimivan paremmin luokkahuoneen ilmamäärien osalta, kun sen viereisissä luokkatiloissa on alhaiset hiilidioksidikuormitukset. Tutkimuksia olisi voinut laajentaa, jos järjestelmän automaatioon olisi ollut rajaton pääsy.

IV-kone nostaa puhaltimen kierrosnopeuksia muutostilanteissa eli järjestelmän paineen muutoksissa, jotka vaikuttavat luokkatilojen ilmamääriin. Todellisuudessa mittauksista aiheutuvat kuormitusmuutokset vaikuttavat järjestelmän paineeseen hyvin vähän. Paine muutokset saattoivat olla liian vähäisiä, jolloin iv-koneet eivät lähteneet nostamaan puhaltimien kierrosnopeuksia. Yleensä iv-koneiden puhaltimien kierrosnopeuksien muutoksiin tarvitaan jonkun paineen raja-arvon alittaminen. [17]

Pussiteknikalla toteutetut kuormitusmuutokset saivat paremmat ja varmemmat tulokset, jos toimintakokeiden aikana olisi useampi henkilö osallisena. Suorittaessa yksin pussiteknikalla olevia kuormitusmuutoksia epävarmuustekijöitä ovat pussien ehjyys, kiinnittäminen ja pussien pitävyys. Kuormitusmuutoksissa huoneseinäyksikköihin on suositeltavaa asettaa henkilö tarkastelemaan pussin hiilidioksidipitoisuutta ja pysyvyyttä oikealla tasolla. Menetelmän tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, mutta ei takuuvarmoina.

## 17 Toimintakoe rengaskanavajärjestelmälle

Saatavat ilmamäärät päätelaitteista voivat osoittautua joskus virheellisiksi epäkunnossa olevien moottoripeltien takia. Ilmastointikanavan runkokanavasta suoritettu kanavapaineenmittaus estää mahdolliset epävarmuudet päätelaitteista ja muista osista (kuva 26).



Kuva 26. Reikäporaus nuolen osoittamaan kohtaan

Poraamalla reiän runkokanavaan (kuva 26) nuolen osoittamasta kohdasta saadaan selvitettyä päätelaitteille menevä paine. Toimintakokeen aikana voidaan kuormittaa viereisiä luokkahuoneita eri tavoin, eli toteuttaa huoneisiin maksimi- ja tyhjäkuormat. Kokeen perusteella saadaan johtopäätös siitä, mikä paine kanavistossa on eri tilanteissa. IV-koneiden pyörimisnopeuksien muutokset selkiintyvät mittauksen avulla. Porauksen jälkeen iv-kanavan reikä tulpataan. [17]

## 18 Yhteenveto

Perehdyin opinnäytetyössä monimutkaisen ilmastointilaitoksen luokkahuoneen ilmamäärämittauksiin ja ilmanvaihdon toimintaan sekä rengaskanavajärjestelmään. Työllä pyrittiin selvittämään erilaisia käytännön menetelmiä ja ehdotuksia siitä, miten järjestelmää voisi testata toimivaksi. Toimintakokeiden avulla saatiin uutta näkökulmaa laitoksen kenttälaitteiden toiminnasta automaatiojärjestelmän kanssa.

Teoriaosuudessa käytiin läpi ilmanvaihtolaitoksen vastaanottoa ja siihen liittyviä toimintakokeita ennen rakennuksen luovutusta käyttäjälle. Rakennuksen vastaanoton jälkeen käytiin lyhyesti läpi rakennuksen käyttöönottoa.

Ilmamäärämittausten yhteydessä laadittiin mittausohjeet tuloilmasuutinkanavalle ja poistoilmaventtiilille. Ennen ilmamäärämittausten aloitusta selvitettiin useita eri faktoja päätelaitteista ja laitoksen toiminnasta. Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa selvitettiin alajakokeskuksen valvomografiikan ja toimintaselostuksen kautta. Lisäksi haastateltiin suunnittelijaa ja urakoitsijaa, jotka olivat osallisena laitoksen toteutuksessa.

Työssä kokeiltiin uudenlaista hiilidioksidinkuormitusmenetelmää kiinnittämällä pusseja huoneseinäyksikköihin ja puhaltamalla niihin hiilidioksidia. Pussitekniikalla suoritettut hiilidioksidikuormitukset osoittivat hyviä ja huonoja puolia toimintakokeen kannalta. Huonon teippauksen tai virheellisen pussin myötä saadaan helposti epäonnistunut toimintakoe, mutta onnistuneessa koetilanteessa saadaan pidettyä luokkatilassa hiilidioksidit hyvinkin pitkään korkealla tasolla ilman oikeaa henkilökuormaa. Selvitettiin hiilidioksidilukemien pysyvän huoneseinäyksikön sisällä yli 850 ppm:n tasolla yli 25 minuuttia. Pussi-

tekniikan avulla suoritettut kuormitusmuutokset ja niihin liittyvät ilmamäärämittaukset erilaisissa skenaarioissa antoivat samansuuntaisia tuloksia, kuin normaaleissa ilmamäärämittauksissa saatiin ja niitä vertailtiin keskenään. Toimintakokeen aikana havaittiin pusiteknikan olevan helppoa yhdelle luokkahuoneelle, mutta vaikeaa samanaikaisesti usealle luokkahuoneelle. Lisäksi pääteltiin toimintakokeiden olevan sujuvampaa ja varmempaa, jos toimintakokeiden aikana olisi useampi henkilö osallisena.

Työssä selvitettiin, vaikuttavatko viereisten luokkahuoneiden käyttöolosuhteet rengaskanavajärjestelmässä valitun luokkahuoneen ilmamääriin. Työssä suoritettiin viisi erilaista kuormitustilannetta ja niitä vertailtiin toisiinsa. Ilmamäärämittauksia analysoidessa havaittiin viereisten luokkatilojen käyttöolosuhteiden vaikuttavan jonkin verran toisiinsa. Viereisten luokkatilojen ollessa tyhjiä olivat ilmamäärät suunnitteluarvoja suurempia valitussa luokkatilassa. Viereisten luokkatilojen ollessa täynnä valitussa luokkatilassa havaitut ilmavirrat olivat pienemmät verrattuna suunnitteluarvoihin.

Opinnäytetyössä ei selvitetty rengaskanavajärjestelmän iv-koneiden puhaltimien ja säätävien palopeltien raja-arvoja, joilla on vaikutusta ilmamääriin. Opinnäytetyössä kehoitetaan pitämään harkitsevaista suhdetta mittaustuloksiin ja verrattuihin suunnitteluarvoihin. Työn aikana oli rajoitettu pääsy automatiikkaan, mikä rajoitti hieman työn tekemistä. Mikäli valvomoon olisi rajaton pääsy, voitaisiin tutkimuksia mahdollisesti laajentaa entisestään. Työtä voidaan hyödyntää rengaskanavajärjestelmien ymmärtämisessä ja ilmamäärämittauksissa. Rengaskanavajärjestelmän tutkimusta olisi mahdollista jatkaa rajaamalla laajempi alue tutkittavaksi kohteeksi ja ottamalla huomioon säätävät palopellit ja iv-koneiden pyörimisnopeuksien vaikutukset luokkatilojen ilmamäärien muutoksiin.

## Lähteet

- 1 PHM-V1 Venttiilisäätömittari. HK Instruments Oy. Verkkoaineisto. hkinstruments.fi. <<https://hkinstruments.fi/fi/tuotteet/kasimittari/phm-v1-venttiilinsaato-mittari/>>. Luettu 18.2.2020
- 2 PHM-V1 Venttiilisäätömittari. Kimrok Oy. Verkkoaineisto. Kimrok.fi. <<https://www.kimrok.fi/tuotteet/phm-v1-venttiilinsaeatoemittari/>>. Luettu 18.2.2020
- 3 Standardit, direktiivit ja CE-merkintä. Verkkoaineisto. SFS Suomen standardisoimisliitto. <[https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/standardit\\_direktiivit\\_ja\\_ce-merkinta](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/standardit_direktiivit_ja_ce-merkinta)>. Luettu 18.2.2020.
- 4 IAQ-Calc sisäilman laadun mittari käyttö- ja huolto-opas. 2008. TSI Incorporated. Luettu 21.1.2020
- 5 Päätelaitteen puhdistaminen. Verkkoaineisto. Hengitysliitto.fi. <<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/paatelaitteen-puhdistaminen>>. Luettu 9.1.2020
- 6 KSU. Verkkoaineisto. lindab.com. <<http://www.lindab.com/fi/pro/products/Pages/KSU.aspx>>. Luettu 9.1.2020
- 7 KSO, KSOS ja KSOV Poistoilmaventtiilit. FläktGroup. Luettu 20.2.2020
- 8 Ainamo. Jussi. 2016. Ilmanvaihtojärjestelmät Metropolian Myllypuron Kampus. Sweco Talotekniikka Oy. Luettu 1.1.2020
- 9 ACTIVENT-ilmanjakojärjestelmä. 2016. FläktWoods. Luettu 4.2.2020.
- 10 Koski, Tuomas. 2014. Valvonta-alakeskuksen suunnittelu saneerauskohteeseen. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 ROU-Huoneyksikkö. 2018. PRODUAL. Luettu 4.1.2020.
- 12 Sandberg Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy.
- 13 Tarpeenmukainen ilmanvaihto. Swegon. Verkkoaineisto. Swegon.com. <<https://www1.swegon.com/fi/Tuotteet/Tarpeenmukainen-ilmanvaihto/>>. Luettu 4.1.2020

- 14 Säättökaavio ja toimintaselostus. 2016. Sweco Talotekniikka Oy. Luettu 23.12.2019
- 15 Lakeus, Antti. 2020. Automaatiosuunnittelija. Haastattelumuistio. 5.3.2020.
- 16 Myllypuron Kampus. Metropolia. Verkkoaineisto. Metropolia.fi. <<https://www.metropolia.fi/tietoa-metropoliasta/kampukset/myllypuro/>>. Luettu 20.11.2019
- 17 Honkavaara, Tuukka. 2020. LVI-suunnittelija. Haastattelu. 10.9.2020
- 18 Luoma, Jere. 2020. Ilmanvaihtourakoitsija. Haastattelu. 11.3.2020
- 19 Myllypuro Kampuksen kiinteistönhoitaja. Haastattelu. 1.12.2020